

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de las anomalías magnéticas en valles de fondo plano de la Cuenca del Ebro(Zaragoza)

**Study of magnetic anomalies in flat-bottomed
valleys of the Ebro Basin (Zaragoza)**

Autor:

David Aladren Novella

Directores:

Antonio Casas Sainz

Luis Arlegui Crespo

Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza
Curso 2019/20

INDICE

1-.Resumen y abstract.....	3
1.1-. Resumen	3
1.2-. Abstract	3
2-. Introducción	4
2.1-.Objetivos:	4
3-.Situación geográfica:.....	5
3.1-.Contexto geológico general:	6
3.1.1-. Cuenca del Ebro	6
3.1.2-. Valles de fondo plano o "vales":	7
4-.Metodología:.....	7
4.1-. Nociones básicas	7
4.1.1-.Campo Magnético terrestre.....	7
4.1.2-.Magnetismo:	8
4.1.3-.Propiedades magnéticas de los sólidos:	9
4.2-. Trabajo de campo:	10
4.3-.Medidas de campo magnético: Metodología en campo y equipo empleado:	10
4.4-. Medidas de susceptibilidad: Metodología en campo y equipo empleado	11
5-.Trabajo de gabinete:	12
5.1-. Tratamiento de datos:	12
5.2-. Trabajo de laboratorio:	13
6-.Resultados obtenidos:	14
6.1-.Mapas Magnéticos:.....	14
6.2-.Susceptibilidad	15
6.2.1-.Mapa Susceptibilidad	15
6.2.2-.Perfil susceptibilidad	17
6.2.3-. Valores de susceptibilidad de las muestras tomadas en campo:	17
6.3-. Modelización de perfiles magnéticos:	18
7-.Discusión:	22
8-. Conclusión:.....	25
9-. Bibliografía:	26
10-.Anexos:.....	28
Anexo 1:	28
Anexo 2:	28
Anexo 3:	29

1.-Resumen y abstract

1.1-. Resumen

El sector central de la Cuenca del Ebro se caracteriza por la presencia de valles de fondo plano, o localmente conocidos como 'vales'. El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es el análisis de estos, con el fin de comprender las características de su relleno así como su interacción con el campo magnético terrestre, la evolución del mismo o la geometría del relleno. Para llevar a cabo este análisis realizamos la prospección geofísica de la zona, así como un análisis tanto en campo como en laboratorio de la susceptibilidad de los materiales que forman el relleno de uno de estos vales. Para completar el análisis de los valores tomados en campo, se realizaron mapas de campo magnético, gradiente y susceptibilidad para poder analizar las diferentes anomalías que aparecen a lo largo de la zona de estudio.

Posteriormente se realizaron tres perfiles que atraviesan las anomalías más destacadas en nuestra zona de estudio, pudiéndose así ser modelizadas y estudiadas con la ayuda del software GravMag. Finalmente obtenemos la influencia de los restos antrópicos de la zona, como es el camino que la atraviesa de Norte a Sur, el cual presenta gran cantidad de material ferromagnético, los cuales perjudican el estudio realizado ya que provocan una gran influencia sobre las prospecciones magnéticas.

1.2-. Abstract

The central sector of the Ebro Basin is characterized by the presence of flat-bottomed valleys, or locally known as 'vouchers'. The main objective of this Final Degree Project is the analysis of these, in order to understand the characteristics of their fill as well as their interaction with the Earth's magnetic field, its evolution or the geometry of the fill. To carry out this analysis, we carried out a geophysical survey of the area, as well as an analysis both in the field and in the laboratory of the susceptibility of the materials that make up the fill of one of these vouchers. To complete the analysis of the values taken in the field, magnetic field, gradient and susceptibility maps were made to be able to analyze the different anomalies that appear throughout the study area. Subsequently, three profiles were made that cross the most prominent anomalies in our study area, thus being able to be modeled and studied with the help of the GravMag software. Finally, we obtain the influence of the anthropic remains in the area, such as the road that crosses it from North to South, which presents a large amount of ferromagnetic material, which detracts from the study carried out since they cause a great influence on magnetic surveys.

2-. Introducción

Una de las morfologías más recurrentes o que aparecen con mayor frecuencia a lo largo de la Cuenca del Ebro, más concretamente en el sector central, son los valles de fondo plano o "vales".

El estudio de estos valles nos ayuda a conocer las características principales del relleno del que están formados o las condiciones necesarias para su formación. El relleno se compone de limos, arenas y gravas, sobre los cuales también se pueden depositar yesos. Estos valles pueden estar destinados a la agricultura, siempre y cuando el relleno de los mismos sea un conjunto de limos y arenas.

El análisis del relleno de los valles nos permite conocer las diferentes etapas de acumulación, así como influyen las variaciones climáticas en este proceso de formación.

Este trabajo trata de aprender a caracterizar un valle de fondo plano, estudiando el relleno que presenta así como sus características geofísicas. Para realizar dicho análisis se realizan varias técnicas de prospección geofísica, que en este caso son la prospección magnética y la toma de valores de susceptibilidad magnética. Para llevar a cabo la prospección geofísica tomamos como referencia trabajos previos como son los de Romance (2014) y Mochales (2006).

Existen numerosos estudios asociados a la geología de la Cuenca del Ebro, tanto estudios regionales como específicos, ya sean del tipo geográfico, geomorfológico o geológicos. Para nuestro trabajo, existen gran cantidad de trabajos relacionados con el análisis de cavidades, estos trabajos emplean técnicas similares a las que nosotros emplearemos. Estas exploraciones se emplean básicamente para detectar cavidades de una manera rápida y económica, aunque este trabajo no tenga que ver con la detección de cavidades es importante tener en cuenta los trabajos realizados en la zona de estudio, como los realizados por Cook (1965 y 1974) para lograr analizar de una manera más precisa nuestra zona de estudio.

Una vez realizada la prospección geofísica, extraemos los valores de campo magnético y gradiente para representarlos de acuerdo a las coordenadas geográficas. También se toman datos de susceptibilidad que representaremos en mapa y en perfil, para observar su variación a lo largo del espacio, logrando así interpretar los materiales de relleno del valle de fondo plano.

En resumen, este trabajo consiste en aumentar nuestro conocimiento acerca de los valles de fondo plano, además de familiarizarnos con algunas técnicas de prospección geofísica.

2.1-.Objetivos:

Este Trabajo de Fin de Grado (TFG) consta de una serie de objetivos como son:

1. Aprender a realizar prospección geofísica, para evaluar el valle de fondo plano que vamos a estudiar, como es la prospección magnética o toma de valores de susceptibilidad.
2. Comprender con suficiente destreza los diferentes programas que debemos emplear para analizar los diferentes datos obtenidos en campo.
3. Analizar cómo se comporta el campo magnético terrestre a partir de la influencia de los materiales que forman el relleno de los valles de fondo plano, que aparecen lo largo de toda la Cuenca del Ebro.

3.-Situación geográfica:

La zona de estudio se sitúa en los alrededores de la ciudad de Zaragoza, localizada en el sector central de la Depresión del Ebro. (Figura 1)



Figura 1: Localización de la zona de estudio en referencia a la situación en Zaragoza

La depresión del Ebro es una cuenca con forma triangular drenada por el río Ebro. La cuenca se encuentra drenada por aportes sedimentarios procedentes del Pirineo, además de la Cordillera Ibérica y la Costero-Catalana. La gran mayoría de los materiales que afloran se sedimentaron en ambiente marino al principio del Terciario y continentales a partir del Eoceno. Estas litofacies han sido descritas en trabajos previos (Riba et al., 1983) (Figura 2).



Figura 2: Zona de estudio, caracterizada por el labrado que diferencia el valle de fondo plano.

Figura 2b: Zona de estudio, imagen obtenida del mapa IGME Hoja Fuentes de Ebro 384

3.1.-Contexto geológico general:

3.1.1.- Cuenca del Ebro

La cuenca del Ebro es, geográficamente, una depresión enmarcada por los Pirineos, la Cordillera Ibérica y las Cadenas Costerocatalanas. Esta cuenca representa la última fase de evolución de la cuenca de antepaís surpirenaica. Tanto sus límites como su estructura actual se establecieron entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior, en el momento en el que los cabalgamiento frontales surpirenaicos alcanzaron su emplazamiento definitivo.

La caracterización principal que presenta la cuenca del Ebro es la sedimentación en *on-lap*, que a su vez está condicionada por los cabalgamientos del pirineo inferior y de la cordillera ibérica. Podemos dividir la cuenca en tres sectores principales, esta diferenciación la podemos hacer en función de diferentes aspectos, como son la estructura, la subsidencia o los diferentes tipos de materiales que se disponen en cada uno de los diferentes sectores:

- Sector Occidental: Este sector presenta una dirección E-W como una cuenca e antepaís simétrica que a su vez se ve afectada por cabalgamientos activos hasta el Mioceno Superior, este sector fue definido en primera instancia por Muñoz-Jiménez y Casas Sainz (1997). La abundante presencia de materiales terciarios se debe a la gran subsidencia ocurrida durante el Paleógeno y Neógeno.
- Sector Central: Este sector al igual que el sector occidental presenta subsidencia pero en menor escala que en el sector occidental, además presenta desplazamiento progresivo hacia el margen de la Cordillera Ibérica. El margen pirenaico está formado por las Sierras Exteriores Pirenaicas y el anticlinal de Barbastro que limitan este sector de la cuenca, esto fue estudiado según Martínez-Peña y Pocoví (1988). Los materiales de la cuenca están afectados por cabalgamientos NW-SE.
- Sector Oriental: Este sector a diferencia de los dos sectores previamente expuestos no presentan relleno neógeno. Este sector presenta pliegues E-W y NE-SW próximo al surco pirenaico, que a su vez están ligados al despegue sobre horizontes evaporíticos (Vergés et al., 1992)

Los materiales que aparecen en la zona de estudio abarcan edades desde el Mioceno inferior hasta el Cuaternario.

Los materiales pertenecientes al Mioceno son series de evaporitas que pueden llegar a alcanzar varios cientos de metros de potencia, a estas series de evaporitas se le conoce como Formación Zaragoza, que aparte de las evaporitas se compone de intercalaciones de margas y/o arcillas (Quirantes, 1978). La facilidad a la erosión que presentan los materiales de esta formación son los que nos dan la morfología de val de fondo plano.

La gran mayoría de los depósitos evaporíticos miocenos suelen estar cubiertos por materiales cuaternarios normalmente procedentes de terrazas de los ríos más próximos.

Posteriormente a la terraza, se encuentran los rellenos de los valles de fondo plano. Estos depósitos están discordantes sobre el Mioceno (Fm. Zaragoza). En 1987 Soriano y Calvo, diferencia en los valles de Valmadrid, Mediana y Botorrita, tres niveles de relleno de los valles de fondo plano, estos tres niveles pueden ser equivalentes a las terrazas, siendo el superior el más antiguo y el más inferior el más moderno.

El tramo superior tiene una potencia media de 12m. Sobre los depósitos neógenos se diferencian dos superficies erosivas, una que tiene que ver con el sustrato Neógeno y la

segunda afectando a los depósitos fluviales, al existir dos superficies erosivas se pueden diferenciar dos episodios de sedimentación:

Sedimentación de barras con acreción vertical, dentro de las cuales se observan canales como consecuencia de un aumento de energía del medio.

Conforme vamos hacia techo observamos como los sedimentos pasan lateralmente a depósitos más marginales en los que esporádicamente aparecen algunos canales.

El tramo medio es más complicado de identificar, posee una potencia media de 3m y dispone de manera discordante de manera erosiva sobre el Neógeno. Hacia techo predominan materiales limosos con rellenos de canal constituidos por gravas. Este nivel está relleno de gravas que alternan con arenas y limos.

El nivel inferior tiene el que menos potencia 1m y se puede observar a lo largo de la gran mayoría de vales de fondo plano. Está formado por gravas (principalmente), niveles de arenas y de limos. De forma esporádica aparecen bloques englobados en estos depósitos. Se observa estratificación horizontal, laminación de bajo ángulo, costras salinas, huellas de organismos, grietas de desecación etc. A partir de estos datos y de que es un nivel activo, parece claro pensar que se genera por la acción dinámica de cursos de agua efímeros (Romance Ibáñez, 2014)

3.1.2-. Valles de fondo plano o "vales":

La geomorfología más común en nuestra zona de estudio son los valles de fondo plano. Son valles que se han colmatado de sedimentos procedentes de la erosión producida en las laderas circundantes, el depósito de estas laderas no pudo ser evacuado por la red fluvial (Peña et al., 2004).

Presentan una geometría meandriforme, que recuerda en muchas ocasiones a valles fluviales, cuando son de una longitud determinada pero cuando son de una longitud menor se les asocia más una forma recta. Además siempre se encuentran con una dirección perpendicular al río a la que se dirigen, en nuestro caso al estudiar la val de Torrecilla de Valmadrid presenta una dirección SE-NW.

El relleno característico de los valles de fondo plano se forma por la acumulación a través de las corrientes fluviales, formado principalmente por una alternancia entre limos y lentejones de arenas y gravas

4-.Metodología:

4.1-. Nociones básicas

4.1.1-.Campo Magnético terrestre

El origen del campo magnético es una de las cuestiones más antiguas dentro del campo de la geofísica.

El campo magnético terrestre se explica con la existencia de un único dipolo magnético situado en el centro de la Tierra y alineado con el eje de rotación (Butler, 1992). A esta teoría se le conoce como el modelo de Dipolo Axial Geocéntrico (GAD).

El campo magnético medido en un punto tiene dos fuentes, una interna y otra externa, ambas con dependencia temporal (Miller 2015).

El campo magnético terrestre interno se divide en dos componentes, campo de la corteza y campo del núcleo. El campo de la corteza es el principal responsable en la generación de anomalías magnéticas, el cual presenta dos tipos de magnetización, magnetización inducida, por la cual la roca no presenta magnetización a no ser que exista un campo magnético externo, y magnetización remanente en la que siempre presentará algo de magnetización aunque no exista un campo magnético externo.

4.1.2.-Magnetismo:

El magnetismo es una propiedad que varía según el elemento que estamos estudiando, debido al comportamiento de los electrones. Los distintos materiales se clasifican en tres grupos en función del comportamiento de estos en relación a un campo magnético que les afecta, estos tres grupos, diamagnéticos, paramagnéticos y ferromagnéticos. Este último grupo, los ferromagnéticos, son aquellos materiales que capaces de mantener una magnetización remanente una vez han sido sometidos a un campo magnético externo.

La intensidad del campo magnético terrestre es variable a lo largo de todo el planeta debido a las interacciones del mismo con la actividad solar, la intensidad media tiene un valor de 50.000 nano-teslas (nT). Las líneas de fuerza del campo magnético discurren por el interior de la Tierra, entrando por el polo norte geográfico y saliendo por el polo sur geográfico, alcanzando una disposición paralela a la altura del ecuador (Figura 3).

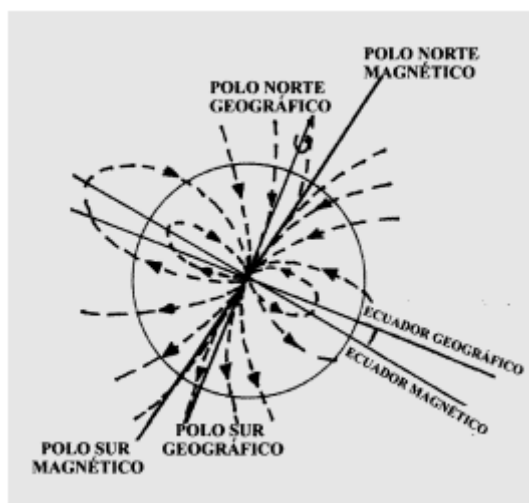


Figura 3. Esquema del campo magnético terrestre y la distribución de sus líneas de fuerza.
Investigación sobre algunos aspectos del campo magnético terrestre. Implicaciones didácticas.
(1999)

El campo magnético terrestre sufre variaciones debido a varios factores, pueden ser externas y periódicas que dependen de la actividad solar y de la rotación terrestre, estas variaciones comprenden un rango entre 10 y 30 nT. Estas variaciones es necesario corregirlas a la hora de realizar un estudio de anomalías magnéticas como es nuestro caso, esta corrección viene

explicada en los apartados siguientes. Además de estas variaciones también pueden aparecer otro tipo las cuales son no periódicas y se deben a las tormentas magnéticas que pueden producir variaciones de hasta 1000 nT (Mochales López, 2006). Sin embargo las anomalías que más nos interesan desde el punto de vista de la prospección magnéticas son las variaciones espaciales de origen interno, que se producen por el comportamiento magnético que poseen algunos tipos de rocas.

4.1.3.-Propiedades magnéticas de los sólidos:

En función de la interacción entre los sólidos con el campo magnético terrestre se aprecian diferentes tipos de comportamiento por parte de los materiales

Existen tres comportamientos o tipos fundamentales de propiedades magnéticas observadas en un experimento cuya magnetización J , es adquirida en respuesta a la aplicación de un campo magnético, en nuestro caso empleamos el campo magnético terrestre, H .

Diamagnéticos: La respuesta diamagnética a la aplicación de un campo magnético es la adquisición de una pequeña inducción magnética J_i , opuesto al campo magnético aplicado, H . La magnetización depende linealmente del campo aplicado y se reduce a cero al eliminar el campo. La aplicación del campo magnético altera el movimiento orbital de los electrones para producir una pequeña magnetización antiparalela al campo magnético aplicado. (Butler, 2004). Esta respuesta diamagnética es una propiedad de toda la materia, pero es especialmente importante para sustancias cuyos átomos poseen momentos magnéticos atómicos. Un material compuesto de átomos sin momentos magnéticos atómicos exhibe solo la respuesta diamagnética y se clasifica como material diamagnético. La susceptibilidad magnética, X , para un material diamagnético es negativa e independiente de la temperatura. Un ejemplo de este tipo de materiales diamagnéticos sería el Cuarzo y con un valor típico de la susceptibilidad magnética de aproximadamente $10^{-6} SI$

Paramagnéticos: Los sólidos paramagnéticos contienen átomos con momentos magnéticos atómicos y adquieren magnetización inducida, J_i , paralela al campo magnético aplicado, H . Por cualquier condición geológica relevante la magnetización depende linealmente del campo aplicado.

Al igual que con los materiales diamagnéticos, la magnetización se reduce a cero cuando se elimina el campo magnético. Un ejemplo de este tipo de materiales con comportamiento paramagnético sería la fayalita, con una susceptibilidad magnética a temperatura ambiente de aproximadamente de $4.4 * 10^{-4} SI$.

Ferromagnéticos: Los sólidos ferromagnéticos tienen átomos con momentos magnéticos, pero a diferencia de los paramagnéticos, los momentos atómicos adyacentes interaccionan fuertemente. El efecto de las interacciones es producir magnetizaciones en sólidos ferromagnéticos que pueden llegar a ser de orden de magnitud más grande que los sólidos paramagnéticos en el mismo campo de la magnetización.

Para cada material ferromagnético y según temperatura existe una magnetización máxima denominada, saturación magnética, J_s . Cuando aumentamos el campo aplicado, más allá del umbral de la saturación magnética, no dará como resultado un aumento de la magnetización. El hierro metálico es un sólido ferromagnético con magnetización de saturación a temperatura ambiente con un valor de $1.8 * 10^{-3} SI$.

Además de la fuerte intensidad de la magnetización, la propiedad fundamental de los ferromagnéticos, es su capacidad para registrar la dirección de un campo magnético previamente aplicado. Cuando se elimina el campo magnético, la magnetización no vuelve a

cero pero conserva un registro de la aplicación del campo. La ruta de magnetización, J , en función del campo aplicado, H , se denomina bucle de histéresis, figura 4.

El ciclo de histéresis

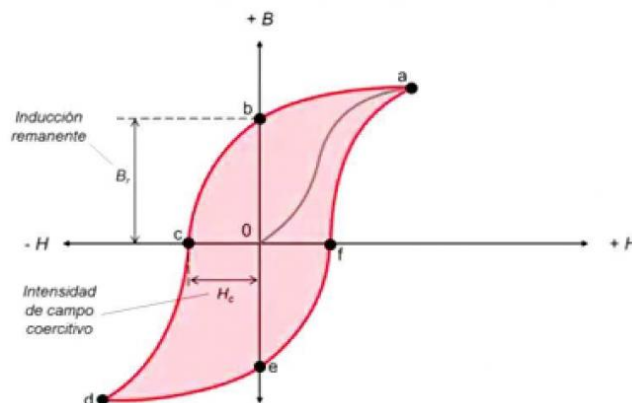


Figura 4: Figura tomada de la página web Imagnet.com, donde se observa la relación del campo magnético y la densidad de flujo.

4.2-. Trabajo de campo:

La prospección magnética se emplea para medir las alteraciones que sufre el campo magnético terrestre en consecuencia de la interacción del campo con los materiales existentes. Esta técnica es idónea para trabajar con materiales con diferente comportamiento magnético, esto ocurre en nuestra zona de estudio, ya que los yesos y las margas de edad miocena que aparecen en la val estudiada poseen un comportamiento diamagnético, sin embargo, los materiales más modernos que proceden del neógeno se comportan de manera ferromagnética o paramagnética.

Aparte de realizarse prospección magnética en este trabajo también se llevó a cabo una campaña de toma de datos de susceptibilidades, se tomaron valores a lo largo de toda la zona que se estudio para así lograr en un futuro la representación con máximo detalle de cómo va cambiando la susceptibilidad de la zona de acuerdo con los materiales que afloran en ella, esta técnica se expone a continuación en el apartado de equipo utilizado junto con el modo de empleo.

4.3-.Medidas de campo magnético: Metodología en campo y equipo empleado:

El magnetómetro de protones empleado (GSM-19 GEM system, figura 6a) utiliza dos sensores separados a 50cm uno de otro, para la obtención del gradiente y el campo total. El magnetómetro se basa en el efecto Overhauser, que consiste en una interacción dipolo-dipolo resultado de la transferencia de magnetización entre dos dipolos magnéticos cambiando sus intensidades (Jiménez Barbero y Peters, 2002).

Este magnetómetro posee una precisión de 0.1nT y está configurado para una medida cada medio segundo. En un principio se emplearía el mismo GPS que viene de serie instalado dentro

del magnetómetro, pero al existir problemas con su funcionamiento se optó por colocar un GPS externo lo más alejado posible de los sensores del magnetómetro para tener de esta manera geolocalizadas todas y cada una de las medidas tomadas. Sin embargo el GPS externo está programado para tomar medidas cada 1 segundo por lo que sería necesario realizar una corrección de los datos que se explicará en un apartado próximo.

No se puede realizar la toma de medidas de campo magnético sin colocar un segundo magnetómetro de protones, en este caso colocamos el PMG-01 República Checa, Figura 6b, a una distancia óptima de 30 metros aproximadamente y alejada de todo del ruido que pueden generar en el campo magnético elementos antrópicos como son carreteras o vehículos. Este segundo magnetómetro es utilizado para medir las variaciones de campo magnético diarias que posteriormente corregiremos aplicando la corrección diurna.



Figura 6: A: Magnetómetro GSM-19 GEM system. B: Magnetómetro PMG-01

Una vez montado el magnetómetro base y asegurado de que funcione podemos comenzar a medir con el magnetómetro móvil. Para llevar a cabo este proceso de toma de datos se realizaron diferentes perfiles que atravesarían de manera transversal cruzando la val que nos disponíamos a evaluar, con una dirección E-W en todos nuestros perfiles. La separación entre perfiles trataba de ser lo más similar posible pero en ciertas zonas no era posible ya que existían ribazos o rebordes de camino que nos impedían conseguir cierto parecido entre los perfiles, pero como norma general los perfiles presentan una separación entre cada uno de ellos de aproximadamente 1.5 metros.

4.4.- Medidas de susceptibilidad: Metodología en campo y equipo empleado

Se empleó el susceptómetro de mano KT-20 (figura 7) para tomar medidas de la susceptibilidad de los materiales en interacción con el campo magnético. Las medidas que se tomaron con este aparato tienen el mismo objetivo que los valores tomados con el susceptómetro, lograr la representación de cómo varía la susceptibilidad de los materiales que aparecen en nuestra zona de estudio. Con este aparato hay que realizar otra técnica de toma de valores, que es muy similar a la utilizada para el campo magnético, la única diferencia es que estos valores se tomaban de manera manual y no automáticamente. Se trató de seguir los mismos perfiles por donde transcurrimos para medir los datos de campo magnético y gradiente. Se trató de realizar cada medida distanciada la una de la otra por la misma cantidad de pasos, unos 15 pasos por medida. Además en las zonas más interesantes, el camino que atraviesa nuestra zona de estudio por el W, se realizaron varias medidas muy

próximas para observar como cambiaba la susceptibilidad del terreno, esto se aprecia a continuación en el apartado de resultados obtenidos.



Figura 7: Susceptómetro de mano KT-20.

Además de llevar a cabo la toma de valores de susceptibilidad por toda nuestra val estudiada, también se tomaron trece muestras de suelo a lo largo de un perfil, anotando sus coordenadas para así en laboratorio poder comprobar la susceptibilidad que presenta cada uno de estos materiales.

5.-Trabajo de gabinete:

5.1-. Tratamiento de datos:

Para empezar se descargan los datos obtenidos en campo por los magnetómetros móvil y base en un ordenador se procesan mediante programas informáticos.

En primer lugar se emplea el programa GEMLink 5.4 para realizar las correcciones diurnas del campo magnético medidas con el magnetómetro móvil. Esta corrección se realiza teniendo como referencia los datos tomados por el magnetómetro base. Realizando la resta entre los valores medidos con el magnetómetro móvil y las medidas de campo magnético obtenidas por el magnetómetro base da como resultado la anomalía residual o la anomalía producida por el material que se encuentra en el relleno de la val que estamos estudiando.

En concreto, nuestra zona de estudio presenta un valor base de campo magnético medido por el magnetómetro base de 45500nT.

Una vez obtenidos los valores de campo magnético pasamos todo el conjunto de datos a Excel, donde pasamos a eliminar todos los valores anómalos, como son los valores que dan 0 o los valores de campo magnético demasiado elevadas.

Cuando tenemos los datos ya procesados empleamos los valores de las coordenadas geográficas para representar los diferentes valores de campo magnético y comprobar que no existen grandes espaciados entre los perfiles que hemos realizado, esto lo hacemos para comprobar que al eliminar valores anómalos siguen siendo representativos los datos tomados. Una vez con todos los datos ya filtrados y agrupados en el Excel empleamos el producto vectorial gracias a la fórmula:

$$((X_1 - X_0) \times \sin(\alpha)) + ((Y_1 - Y_0) \times \cos(\alpha))$$

Siendo (X_0, Y_0) los valores de origen de las coordenadas geográficas de nuestra zona de estudio, y α el grado de inclinación de nuestra zona de estudio en relación con el Norte, en nuestro caso el valor es de 75° .

De esta manera podemos representar los valores de campo magnético y los valores de susceptibilidad tomados en campo para representarlos a lo largo de un perfil y poder observar así las diferentes anomalías que aparecen a lo largo de la zona de estudio.

Por otro lado, aparte de realizar los perfiles, se crearon varios mapas con el uso del software Surfer empleando el método de triangulación por interpolación lineal, se emplea este método porque es el más indicado para usar con estos datos. Una vez realizados los mapas pertinentes se pasan a Google Earth para observar las anomalías y donde se disponen.

Para finalizar el análisis de datos se realiza la modelización de tres perfiles, estos perfiles se eligen buscando la zona donde existen las anomalías más importante de la val que estudiamos, pero para representarlos de manera correcta se determinan ciertos parámetros como son: declinación, inclinación, intensidad de campo magnético (obtenidos a partir de la página web British Geological Survey) y la dirección del perfil. Le aplicamos valores a la susceptibilidad de los diferentes cuerpos que dibujamos para que la anomalía que atraviesa el perfil sea lo más similar posible a la anomalía real.

5.2-. Trabajo de laboratorio:

Las medidas de susceptibilidad magnética se obtuvieron usando el susceptómetro KLY3 Kappabridge (AGICO, República Checa)(Figura 7a). Este aparato trabaja formando un pequeño puente de bajo campo magnético a 300A/m y con una frecuencia de 875 Hz.

Para calcular la densidad empleamos un volumen de 8 cm^3 de muestra, el cual metemos en un pequeño cubo de metacrilato que se rellena de muestra. Una vez calculada la densidad se vuelven a introducir las muestras en el susceptómetro(Figura 7b) y obtenemos así los valores de susceptibilidad total, la susceptibilidad másica a partir del valor de la masa y la susceptibilidad volumétrica.



Figura 8a: Zona de trabajo de la Universidad de Zaragoza, donde se observa el susceptómetro KLY3 Kappabridge

Figura 8b: Método de empleo del susceptómetro KLY3

6.-Resultados obtenidos:

6.1-.Mapas Magnéticos:

Empleando todos los valores obtenidos en la prospección magnética pasamos a representar los diferentes parámetros, como son el campo magnético y el gradiente. En primer lugar realizamos el mapa de campo magnético (Anexo 1) de nuestra zona de estudio, donde el intervalo de valor de campo magnético va desde 38781.04 nT a 53249.93 nT, estos valores se corresponden al campo magnético sin realizar correcciones. Para poder trabajar con los valores de manera correcta es necesario aplicar la corrección diurna, obteniendo así un mapa (figura 9) con valores mucho más bajos donde se apreciarán mejor las distintas anomalías. Una vez aplicada la corrección diurna obtenemos un mapa donde se representa un intervalo cada 15nT, observándose con más detalle las diferentes variaciones.

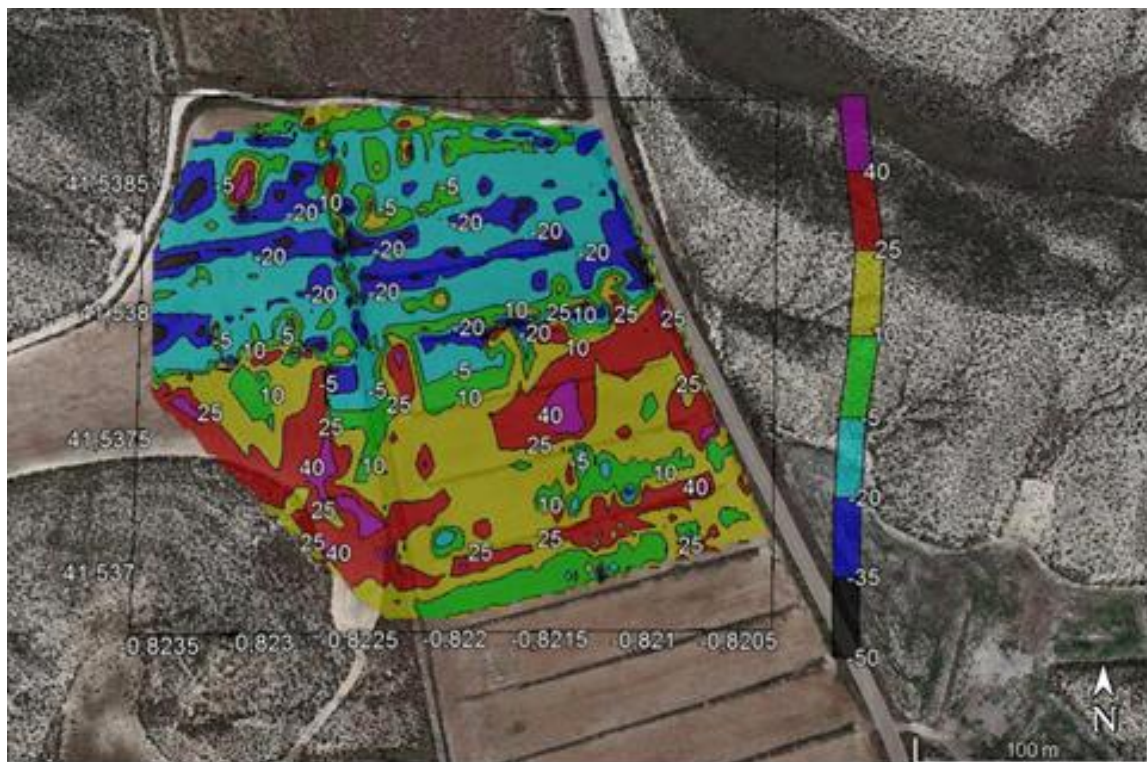


Figura 9: Mapa detallado de campo magnético, con la corrección diurna realizada

Observando el mapa de campo magnético podemos diferenciar dos zonas donde predomina una intensidad de campo magnético determinada. Destacando la zona Norte los valores que predominan son valores bajos de campo magnético, sin embargo, en la zona situada más al Sur destacan valores más elevados de campo magnético, esto se podría deber a dos factores principalmente, el más claro es a errores en la toma de medidas de campo magnético ya que esta variación no se observa en el mapa de susceptibilidad expuesto más adelante, y el segundo motivo es que esta desigual distribución se deba a la acción del agua, la cual ha tenido un mayor impacto en la parte Norte de nuestra zona, produciendo de esta manera el desplazamiento de los materiales de la misma.

Se pueden apreciar grandes anomalías a lo largo de todo el mapa de campo magnético en detalle, como es la anomalía que genera el camino que atraviesa la zona con dirección N-S, también hay que destacar la zona donde se encuentran las diferentes zonas con valores de campo magnéticos medios, o la anomalía magnética que aparece en la zona sureste.

Por otro lado realizamos el mismo proceso con los valores de gradiente obteniendo un resultado similar, representando los valores de gradiente observamos que la mayoría de los valores se encuentran entre -21.98nT a 21.62nT , sin embargo, el rango total va desde -3161.94nT a 3244.4nT . Realizamos un mapa de los valores de gradiente detallado (figura 10) donde podemos observar con más claridad las diferentes anomalías que se ven en la zona de estudio.

En el mapa detallado se puede observar la correlación de los datos de gradiente con los datos obtenidos de campo magnético. Se observan dos zonas claramente diferenciadas a partir de los valores de gradiente, siendo la zona norte caracterizada por valores bajos de gradiente y la zona situada más al sur se caracteriza por valores altos de gradiente.

Se aprecia en la zona del camino una anomalía con una amplitud máxima de 35nT , siendo una de las anomalías más visibles en la zona de estudio, pero también hay que destacar las anomalías que aparecen en la zona de intersección de las dos regiones bien diferenciadas de valores de gradiente. Además en la zona situada más al sur aparecen como en el caso del campo magnético una anomalía localizada en la zona sureste con un valor de 15nT .

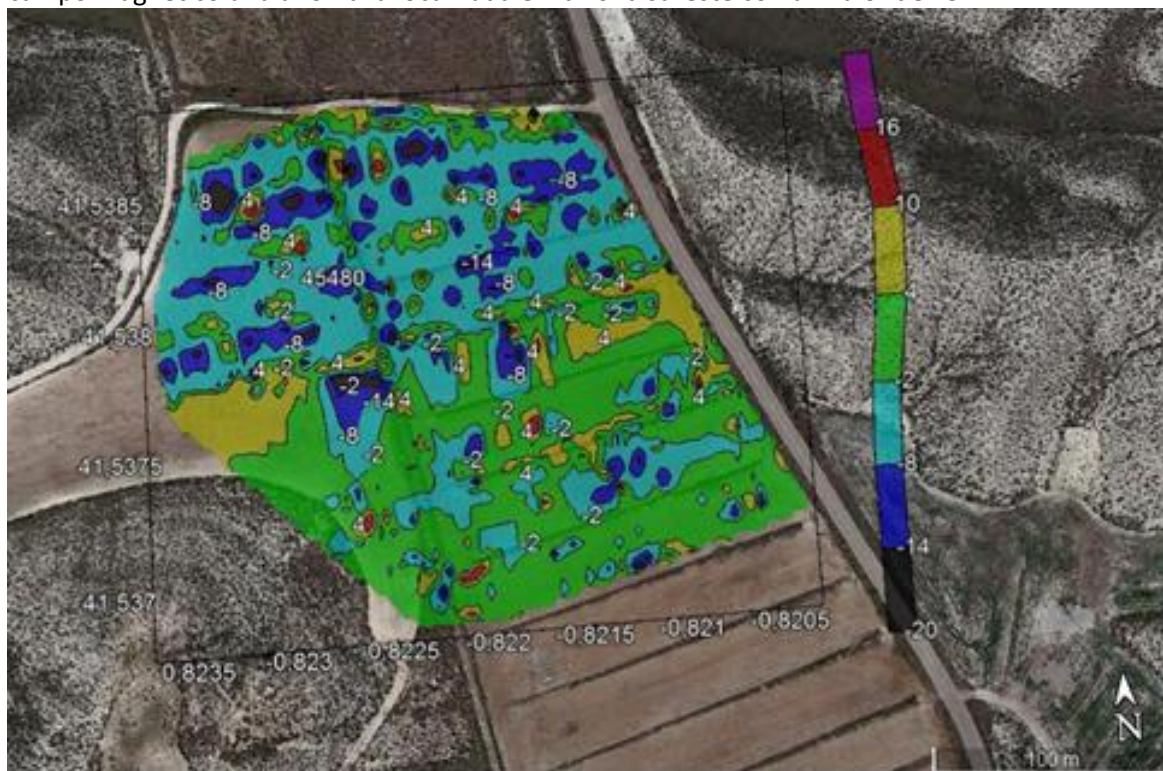


Figura 10: Mapa detallado de los valores de gradiente.

6.2-.Susceptibilidad

6.2.1-.Mapa Susceptibilidad

Realizamos el mismo proceso con los datos obtenidos de la medición de susceptibilidad realizada, al haber realizado una traza a través de toda la zona de estudio se obtiene una malla de datos la cual nos permite representar un mapa con los valores de susceptibilidad para así interpretar las diferentes anomalías que existe en la val estudiada.

En total se tomaron 378 medidas obteniéndose un rango de valores desde $78.167 \times 10^{-3} SI$ hasta $9.7 \times 10^{-6} SI$, obviamente el extremo superior nos indica que algunos valores son anómalos, como se explicará a continuación en el apartado de discusión se entiende que estos

valores obtenidos de la medidas de susceptibilidad se deben a materiales ferromagnéticos altamente susceptibles, como son los restos de escoria que se localizan en las proximidades del camino y que se observa muy bien esta localización en el mapa (Figura 11) que mostramos a continuación.

En este mapa, en el que se representa la susceptibilidad pero dando más valor a los valores más comunes, se observan con claridad dos anomalías bien definidas, una de ellas más reducida en cuanto a dimensiones, pero que presenta un valor de $4.5 \times 10^{-6} SI$, aunque la anomalía que más llama la atención es la que transcurre a lo largo del camino la cuál posee los valores más altos representados, aquellos que están por encima de $10 \times 10^{-3} SI$, esta anomalía, que será interpretada más adelante, se puede adelantar que probablemente se deba a restos antrópicos, como vallas o incluso restos de una antigua línea ferroviaria que transcurría por la zona.

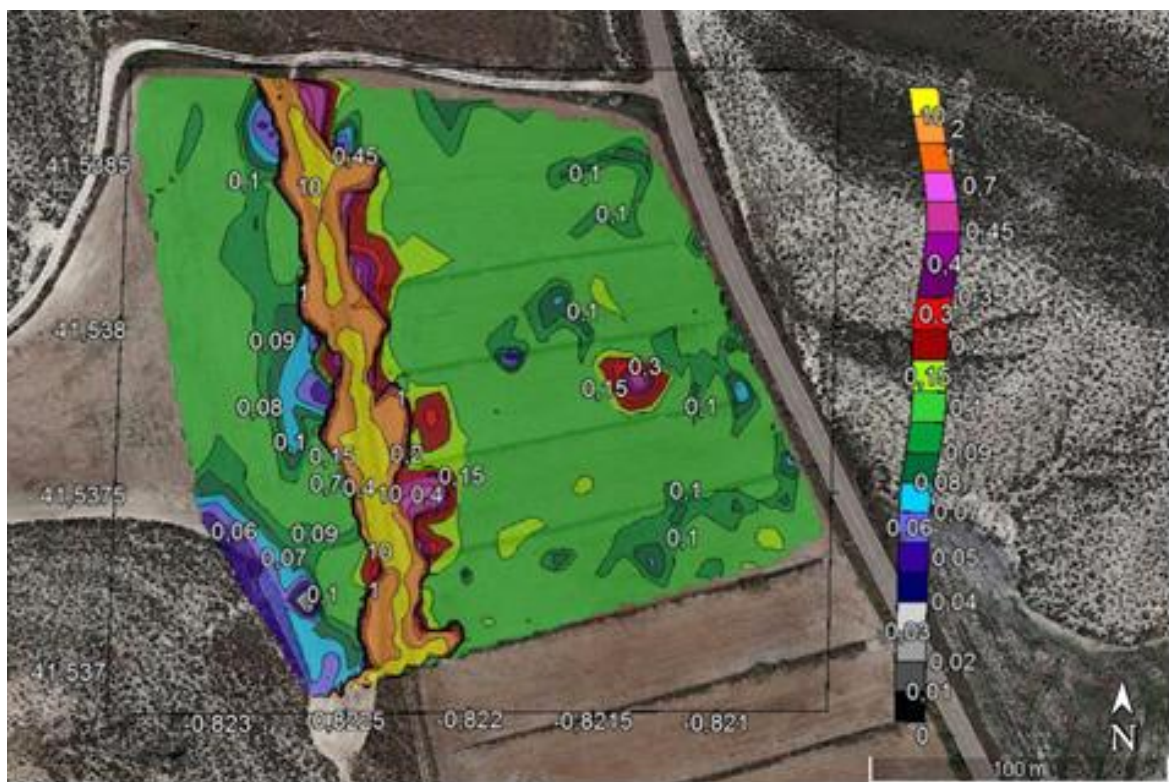


Figura 11: Mapa detallado de los valores de susceptibilidad.

6.2.2-.Perfil susceptibilidad

El perfil (Figura 12) realizado empleando la formula expuesta previamente para pasar todos valores a un mismo eje x, se usa de manera complementaria para observar como aparece claramente marcado en el espacio la anomalía producida por el camino. Sin embargo la anomalía de menor tamaño no aparece, esto se debe a la escala del gráfico ya que al tener la anomalía del camino unos valores tan elevado, encubre el resto de variaciones.

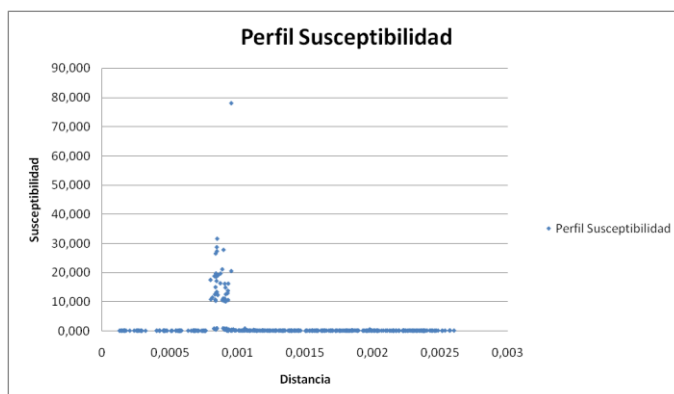


Figura 12: Perfil de Susceptibilidad

6.2.3-. Valores de susceptibilidad de las muestras tomadas en campo:

Una vez analizadas las muestras tomadas en campo se obtuvieron las diferentes medidas de susceptibilidad, tabla 1, donde se aprecia bastante variación de unas muestras a otras. Se observan dos grupos bien diferenciados de valores de susceptibilidad, esto se debe a que varias de las medidas fueron tomadas en el camino o en sus inmediaciones ya que nos parecieron las zonas más interesantes para extraer muestras.

Muestra	Bulk s. (10^{-6})
M01	162,59
M02	189,21
M03	180,39
M04	1.734,20
M05	5.171,83
M06	1.597,00
M07	626,42
M08	2.203,52
M09	2.938,97
M10	210,33
M11	315,60
M12	114,08
M13	63,73

Tabla 1: Valores de susceptibilidad obtenidos en laboratorio.

Las muestras 01,02,03,07,10,11,12 y 13 se corresponde con muestras tomadas en zonas de laboreo, las cuales presentan unos valores de susceptibilidad que van desde $63.73 \times 10^{-6} SI$ hasta $315.60 \times 10^{-6} SI$ los cuales se asocian principalmente a yesos y materiales limosos que forman el relleno más característico de los valles de fondo plano.

Por otro lado las muestras 04,05,06,08 y 09 se tomaron en el camino o en las inmediaciones de este para poder observar en laboratorio el valor de susceptibilidad que esté presenta. La susceptibilidad de estas muestras va desde $1597.00 \times 10^{-6} SI$ hasta una valor máximo de $5171.83 \times 10^{-6} SI$. Estos valores tan elevados nos hacen deducir que el camino posee materiales de diferente comportamiento magnético en relación a los del relleno del valle de fondo plano, probablemente materiales ferromagnéticos.

6.3-. Modelización de perfiles magnéticos:

La cuestión principal a la hora de realizar la modelización es determinar las dimensiones, estructura y propiedades magnéticas de los materiales de relleno de la val de fondo plano.

A la hora de realizar los perfiles debemos concretar una serie de parámetros que debemos determinar previamente para que todos perfiles se den en las mismas condiciones, los parámetros son la inclinación con un valor de 56.7° , la declinación 0.53° , un half strike para cada cuerpo con un valor de 500m y la orientación de los perfiles que varía entre los dos primeros perfiles representados y el tercero que presenta un orientación diferente. Tanto el perfil 1 como el perfil 2 presentan una longitud de 120m pero el tercer perfil tiene una longitud superior llegando a medir 180m. Se ha decidido realizar estos perfiles porque representan cada uno una zona importante de estudiar, además los tres perfiles atraviesan anomalías que debemos analizar. El primer perfil se dispone en la parte Norte de la zona de estudio, el segundo perfil transcurre en la parte Sur de la zona de estudio y el tercer perfil atraviesa la zona al completo de Norte a Sur.

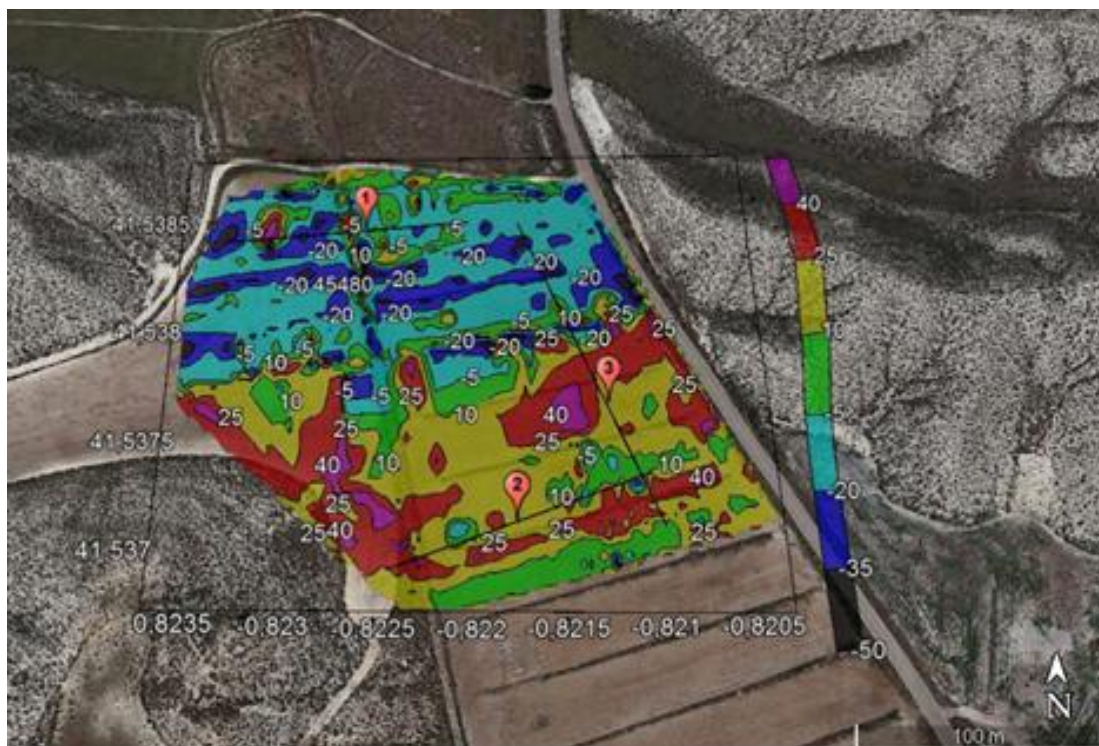
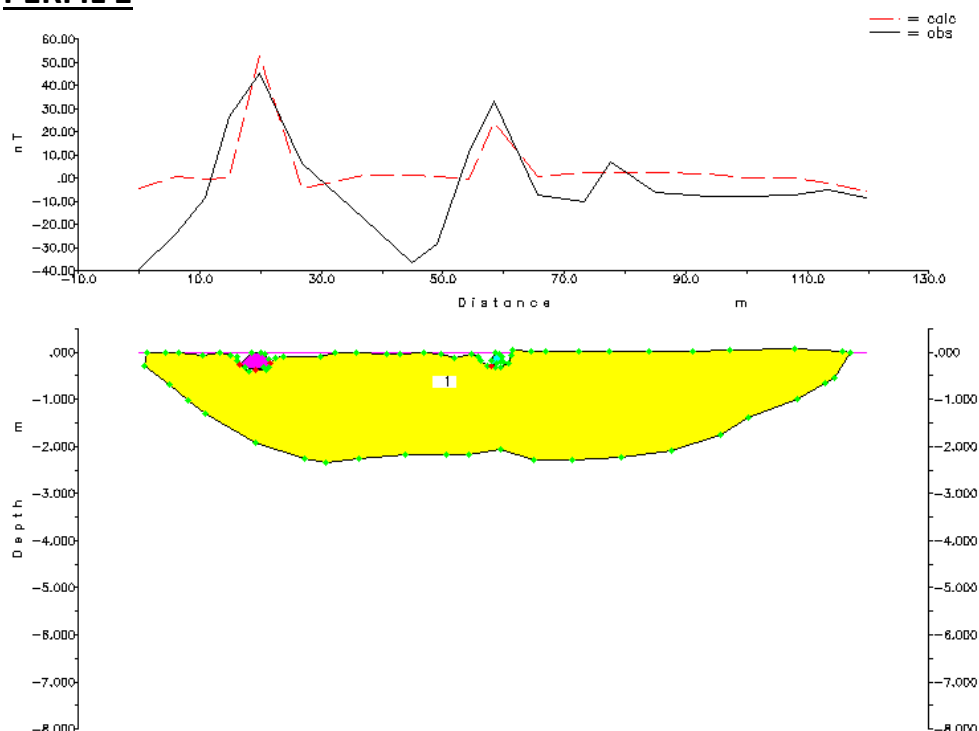


Figura 13: Mapa de campo magnético, donde se aprecian los diferentes perfiles que hemos realizado.

PERFIL 1



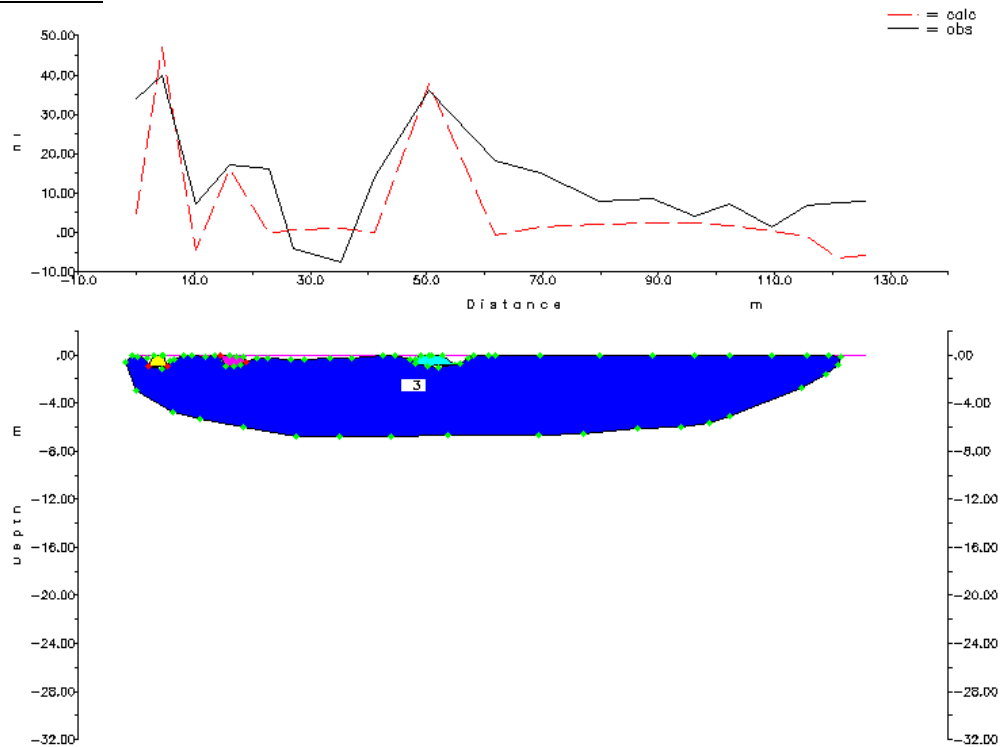
MODEL PROPERTIES								
Title	< >					Profile Orientation		< 75.000>
Earth's Magnetic Field	< 38.2000>		< S.I. >	Declination	< .53>	Inclination	< 56.70>	
Calc Surface Mag	< .0>	M Above	< OBS>	Calc Surface Grav	< .0>	M Above	< OBS>	
Polygon	Number	In	Fill	Density	Susceptibility	Rem Magnetiz	Rmanent	Half
				Mg/M**3	< S.I. >	< S.I. >	Declination	Inclination
								Strike
	BACKG			< .000>	< .00000>			
	1			< .000>	< .00450>	< .0000>	< .00>	< .00>
	2			< .000>	< .08000>	< .0000>	< .00>	< .00>
	3			< .000>	< .08000>	< .0000>	< .00>	< .00>
								< 500.>
								< 500.>
								< 500.>

Figura 14: Perfil 1, la parte de arriba se corresponde con la anomalía existente en campo, la parte inferior es el cuerpo creado para simular la situación de los materiales en profundidad obteniéndose la anomalía con la línea discontinua de color rojo.

El primer perfil realizado muestra dos anomalías situadas en parte izquierda del mismo, estas anomalías se asocian a la zona del camino de nuestra zona de estudio. El motivo de las anomalías es la existencia de materiales ferromagnéticos, los cuales aparecen concentrados a lo largo de todo el camino.

Aparecen dos anomalías ya que existen dos zonas donde es más propensa la concentración de estos materiales. Para representar estas anomalías en la modelización se emplean dos polígonos a los que se les aplica un valor de 0.08 SI. Por otro lado, para representar el relleno del valle se ha optado por construir un polígono que abarca todo el perfil en profundidad, el cual tiene un valor de 0.0045 SI, relacionado directamente con el tipo de materiales que forman este relleno, materiales diamagnéticos como son yesos.

PERFIL 2:



MODEL PROPERTIES								
Title	< >			Profile Orientation		< 75.000>		
Earth's Magnetic Field	< 38.2000>			< S.I. >	Declination	< .53>	Inclination	< 56.70>
Calc Surface Mag	< .0>	M Above	< OBS>	Calc Surface Grav	< .0>	M Above	< OBS>	
Polygon Number	In	Fill Style	Density Mg/M**3	Susceptibility < S.I. >	Rem Magnetzn < S.I. >	Remanent Declination	Remanent Inclination	Half Strike
BACKG			< .000>	< .00000>				
1			< .000>	< .04000>	< .0000>	< .00>	< .00>	< 500.>
2			< .000>	< .02000>	< .0000>	< .00>	< .00>	< 500.>
3			< .000>	< .00200>	< .0000>	< .00>	< .00>	< 500.>
4			< .000>	< .01000>	< .0000>	< .00>	< .00>	< 500.>

Figura 15: Perfil 2, donde se representa la anomalía localizada en el camino en la parte inferior de la zona de estudio.

Para este segundo perfil el cual presenta una amplitud máxima de 50nT, representamos varias anomalías que tienen el mismo origen que las observadas en el primer perfil. Las tres anomalías tienen su origen en la acumulación de materiales ferromagnéticos, en menor medida que en el primer perfil ya que estas presentan una menor magnitud. Para representar estas anomalías se ha recurrido a dibujar 3 cuerpos que simulen la acumulación de este tipo de materiales, estos tres cuerpos presentan unos valores de 0.04, 0.01 y 0.02 SI, correspondiéndose a los cuerpos nombrados de izquierda a derecha. Además se dibuja el relleno del valle con un polígono de mayores dimensiones presentando este un valor de 0.002 SI.

PERFIL 3:

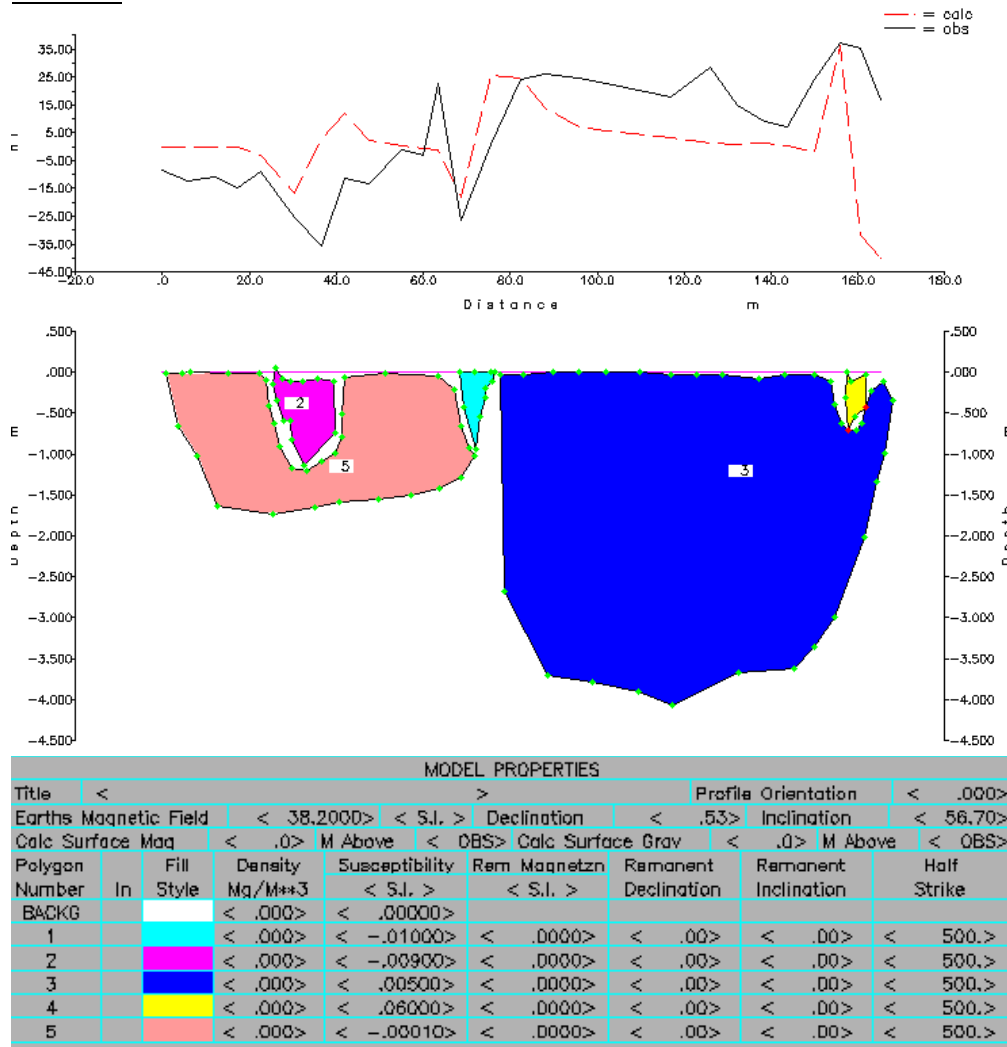


Figura 16: Perfil 3, se representan las dos zonas con diferentes susceptibilidad que caracterizan la zona de estudio.

El tercer perfil es el más complejo de todos ya que presenta dos zona diferenciadas en cuanto al valor de campo magnético de los materiales existentes. En este perfil se han tenido que realizar 5 cuerpos que nos ayuden a generar las anomalías existentes.

Para la primera parte del perfil, la que se corresponde con valores bajos de campo magnético, es necesario que los cuerpos dibujados presenten susceptibilidad negativa, indicando así que se trata de cuerpos con comportamiento diamagnético. Estos cuerpos 2,3 y 5 presentan valores de -0.01, -0.009 y -0.0001 SI respectivamente, simulando de esta manera la acumulación de este tipo de materiales en esta zona.

A continuación representamos la parte de la derecha del perfil la cual presenta unos valores mayores de campo magnético, esto se asocia a la existencia de materiales con mayor susceptibilidad por la zona. Para representar este caso se introduce un campo que simula el relleno del valle con un valor de 0.005 SI. Además es necesario recalcar que aparece una pequeña anomalía al final del perfil, el motivo generador de esta anomalía se discutirá más adelante, pero cabe destacar que es posible que se produzca a causa de la influencia de un gasoducto que pasa por las proximidades. Para representar este posible motivo se ha generado un cuerpo con un valor de 0.06 SI.

7-.Discusión:

Los mapas realizados con los datos tomados en campo nos permiten observar la existencia de varias anomalías a lo largo de nuestra zona de estudio. Tanto si tomamos como referencia el mapa de campo magnético como el de gradiente observamos la separación de nuestra zona de estudio en dos regiones claramente diferenciadas, en lo que se refiere a los valores medios de campo magnético y gradiente. La zona situada más al Norte se caracteriza por tener unos valores medios menores de campo magnético, los cuales rondan los valores de -35 a -20nT, mientras que la zona situada más al Sur presenta valores más elevados de campo magnético, en el orden de -5 a 10nT. Para poder explicar esta diferencia tan evidente es necesario recalcar que toda la zona de estudio presenta, en más o menos medida la existencia de material ferromagnético, el cual esta relacionado con la diferencia que existe entre estas dos zonas. Este material aparece mucho más concentrado en las inmediaciones del camino que atraviesa la zona en la región oeste con dirección N-S.

La desigual distribución de estos materiales por toda la zona de estudio se asocia claramente a una diferente distribución de los mismos, esta distribución probablemente este relacionada directamente con la acción del agua, ya que es común que el agua transporte este tipo de materiales en su flujo. Aparte del agua también es posible que se deba a problemas con la toma de medidas, ya que observando el mapa de susceptibilidad, no se aprecia diferente distribución a lo largo de la zona de estudio, salvo en el camino.

De acuerdo con la topografía de la zona, se ha realizado un mapa topográfico (Anexo 2). Observamos que la zona donde se concentran este tipo de materiales, aparte del camino, se identifica como una zona más alta que la zona donde no se concentran tanto, la cual se encuentra más baja topográficamente hablando. Es por esto que se puede deducir que al encontrarse a una mayor altura esta zona se haya visto menos influenciada por la acción del agua, quedando mayor cantidad de estos materiales en las zonas más altas, ya que en zonas con menor altitud el transporte de estos materiales por acción del agua es mayor.

La existencia de este tipo de materiales nos provoca cierta incertidumbre al no saber su procedencia o como se han podido formar, es por esto por lo que buscamos teorías que concuerden con la formación de los mismos. En primer lugar al ver que se trata de una zona de cultivo podemos pensar que el uso de fertilizantes ha podido provocar la formación de este tipo de materiales, y en cierto sentido es correcto porque el uso de fertilizantes provoca la inclusión de Fe^{2+} en la tierra y con ello la formación de minerales magnéticos, pero esta teoría tiene un problema evidente, y es que no es posible que el empleo de fertilizantes sea el causante de la formación de todos los materiales ferromagnéticos que aparecen en la zona, puesto que no tiene la capacidad de generar tal cantidad.

Otra teoría que podemos llegar a valorar sería que estos materiales procediesen de una zona cercana, pero esta teoría queda descartada ya que este tipo de materiales no afloran en las proximidades, en las zonas próximas solo aparecen limos, arenas y gravas de edad Miocena, además de los yesos presentes en toda la Fm Zaragoza.

Descartando estas dos teorías nos queda una tercera que sería la formación de estos materiales de manera natural debido a la existencia de las diferentes propiedades del terreno que favorecen la formación de este tipo de materiales. Esta serie de condiciones, como son el pH, el drenaje activo o la presencia de condiciones climáticas favorables coincide con la teoría desarrollada por Soriano y Calvo (1987) donde exponen que el nivel superior de los valles de fondo plano, donde se localiza la acumulación de este tipo de materiales, se formo bajo un clima frío y con menos influencia antrópica que las zonas próximas.

Por otro lado las anomalías que aparecen en la zona de estudio se pueden separar en tres situadas en zonas diferentes. La primera es la anomalía más importante, que presenta una amplitud máxima de 90nT. Se localiza en la zona Norte próxima al camino y se asocia a la gran cantidad de materiales ferromagnéticos que aparecen en él. Pero no poseen el mismo origen que los que aparecen en zonas más alejadas, ya que si seguimos el camino observamos que a lo largo de todo el trazo aparecen los restos de una valla metálica que en algunas parte esta semienterrada. Por estas razones la existencia de esta anomalía se debe a la gran cantidad de materiales ferromagnéticos de origen antrópico que aparecen en el camino y en sus inmediaciones.

La segunda anomalía se localiza en la zona donde se pasa de unos valores bajos de campo magnético a la zona donde predominan los valores mayores, esta agrupación de anomalías se debe principalmente a la diferencia de altura y con ella a la influencia del agua, siendo esta responsable de la disposición de los materiales.

La tercera gran anomalía que aparece en nuestra zona de estudio es un conjuntos de anomalías menores, las cuales aparecen más al sureste de nuestra zona estudiada. Se puede observar como aumenta el valor de las anomalías en esta zona, por lo que deberíamos de buscar información acerca de cómo cambia el campo magnético hacia el Sur, en Montserrat (2020) se analiza una zona próxima a la nuestra en esta dirección, observamos que detecto que en la región este de su zona de estudio se le generaba una gran anomalía y determinó que se podría deber a la existencia de un gaseoducto, algo que quedaría demostrado observando el trazado que sigue este (ANEXO 3), se trata del gaseoducto que une Vizcaya-Barcelona y Valencia, observando su trazado sería lógico pensar que la anomalía que se nos genera en nuestra zona más al Sur también es debido a la trama que sigue.

Observando los perfiles obtenidos a través de la modelización con GravMag, llegamos a varias conclusiones en cada uno de ellos.

En el perfil 1 se observan dos anomalías principales en la parte izquierda del perfil, estas se corresponden con el extremos situado al Este del perfil, estas anomalías se interpretan de manera similar. La primera anomalía se asocia a la acumulación de materiales ferromagnéticos en la margen izquierda del camino. Para representar esta anomalía se ha dibujado un polígono con un valor de susceptibilidad de 0.08 SI para representar la acumulación de materiales ferromagnéticos.

Por otra parte la segunda anomalía presenta una menor amplitud y también se asocia a la presencia de este tipo de materiales. Observándose estas acumulaciones en el mapa realizado. Para representar dicha acumulación se ha optado por dibujar un cuerpo con las mismas características que el asociado a la primera anomalía.

El segundo perfil permite observar la misma anomalía del camino, pero esta vez en la región Sur de la zona estudiada. Al igual que en el primer perfil, observamos dos anomalías que destacan por encima del resto. Estas anomalías están asociadas a la acumulación de materiales ferromagnéticos, básicamente porque se encuentran muy cerca de la zona con mayor cantidad de este tipo de materiales. Para representar dichas anomalías hemos dibujado tres polígonos con valores de 0.04, 0.01 y 0.02 SI, refiriéndose cada uno a las distintas anomalías que aparecen de izquierda a derecha. Además de estos polígonos, hemos generado un cuerpo que representa el relleno de la val, a este cuerpo se le adjudica una susceptibilidad de 0.002 SI.

Por último, el tercer perfil es el más interesante de evaluar, en este perfil se observan las dos zonas con predominio de un tipo de materiales en cada una de ellas. En la zona situada a la izquierda del perfil, la zona Norte en el mapa, se observa la presencia de materiales

diamagnéticos, otorgando a esta zona unos valores bajos de susceptibilidad magnética, sin embargo, la zona situada a la derecha del perfil, zona Sur del mapa, presenta mayor cantidad de materiales ferromagnéticos y paramagnéticos, presentando así una zona con valores mayores de susceptibilidad.

Con la ayuda del perfil observamos ciertas anomalías, las cuales se asocian al paso de una zona a otra, a la acumulación de materiales diamagnéticos o a la anomalía generada por el gaseoducto.

Para representar la acumulación de los materiales diamagnéticos se ha dibujado un cuerpo con un valor de -0.009 SI , y un segundo cuerpo que se emplea para representar el paso de una zona a otra donde aparecen gran cantidad de estos materiales diamagnéticos con un valor de -0.01 SI .

Por otro lado y para representar la anomalía generada por el gaseoducto, representamos un cuerpo que tiene que tener una susceptibilidad de acuerdo a las características de la tubería de hierro, es por esto que debemos aplicarle una susceptibilidad de 0.06 SI , estamos de acuerdo en que no es el valor que debería presentar una tubería de estas características, pero no hay que olvidar que no es seguro que la anomalía se deba a la presencia de este cuerpo, por lo que para representar nuestra anomalía optamos por un valor de este tamaño.

El tamaño de la anomalía se puede deber a que no sea directamente producida por el gaseoducto sino que sean resquicios que nos aparecen, y que este pase por otro punto no representado en el perfil. También es posible que se deba a un fallo en las medidas realizadas y que la anomalía quede, en este caso reducida.

Realizamos un mapa con los valores de susceptibilidad a lo largo de nuestra zona de estudio a partir del cual observamos que aparecen ciertos valores que destacan por encima de otros. Estos valores, que normalmente son superiores a $10 * 10^{-3} \text{ SI}$, y se agrupan en el camino que atraviesa de Norte a Sur, y en las zonas más próximas. Estos materiales tienen un comportamiento ferromagnético y se asocia en muchas ocasiones a restos antrópicos que aparecen en la zona, como son la existencia de restos de vallas o la presencia de una malla metálica que atraviesa todo el camino.

A ambos lados del camino aparecen sin embargo materiales de comportamiento diamagnético, presentan valores entre $0 * 10^{-6} \text{ SI}$ y $30 * 10^{-6} \text{ SI}$, estos materiales son normalmente yesos o limos.

En la zona que abarca más terreno y esta más alejada del camino predominan los materiales paramagnéticos y diamagnéticos, con unos valores medios de $2 * 10^{-6} \text{ SI}$.

En conclusión hemos determinado que el origen de los materiales ferromagnéticos que aparecen a lo largo de toda la zona estudiada, presentan dos orígenes en su mayoría, un origen antrópico como puede ser la contaminación proveniente de la carretera que no se ha comentado previamente pero que también sería una posible causa, y por otro lado el origen natural de estos materiales, que también es posible dadas las condiciones observadas. Por otro lado hemos determinado que la diferencia de valores de campo magnético se debe a la diferencia topográfica y por lo tanto al distinto depósito de estos materiales ferromagnéticos, así como la causa de las diferentes anomalías que aparecen a lo largo de nuestra zona de estudio siendo dos los mayores causantes, la gran acumulación de materiales ferromagnéticos y la influencia del gaseoducto que atraviesa nuestra zona.

8-. Conclusión:

The values taken in the field with the magnetic prospecting on the parameters of magnetic field and gradient, as well as the values taken in the susceptibility sessions and the data analyzed from the samples in the laboratory, have allowed us to obtain a series of conclusions, which are indicates below:

1. There are several anomalies that characterize the area, the largest of all occurs along the road that crosses the area from north to south, but there is another that is also important to highlight and is the possible anomaly generated in the south east region , which may be caused by the existence of the gas pipeline that runs through the area.
2. The path anomaly is generated by the accumulation of materials with ferromagnetic behavior, whether of anthropic origin or of natural formation.
3. The susceptibility values analyzed in the laboratory present two groups of data that differ from those taken on the road or those taken in the cultivation area. Thus indicating the obvious difference between the main materials that make up one area and another.
4. The materials that form the edges of the road are Miocene gypsum and silt, which have a paramagnetic behavior, highlighting even more the ferromagnetic materials that form the road, this can be seen by observing the magnetic susceptibility map where the passage of a type of materials to another.

It has been possible to understand the variation in the type of materials that form flat-bottomed valleys, as well as to observe the different anomalies generated by the accumulation of ferromagnetic materials, or the existence of differentiated areas according to the susceptibility map. In addition to the interpretation of the anomalies with the modeling which helps us to know the morphology of the valley fill.

In conclusion, it has been possible to analyze how the filling of a flat-bottomed valley in the Ebro Basin is like, but several problems have arisen, which by previously examining the work area, would have been detected and avoided, for example, we would have located in another valley that was not crossed by a gas pipeline or that a road full of ferromagnetic material will cross it.

Finally, it would be of great interest to continue evaluating the valley to the south to see how the anomaly generated by the gas pipeline appears or how the anomaly produced by the ferromagnetic materials of the road varies, as well as to complement the study with other types of geophysical techniques.

9-. Bibliografía:

- Butler, R.F., (1992) : Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes. Blackwell Scientific Publications, Boston, 319p.
- Cook, J. C., 1965. Seismic mapping of underground cavities using reflecting amplitudes Geophysical, 304,527-538.
- Cook, J. C., 1974. Yes we can locate solution cavity boundaries. In Coogan, A.H. (ed) Rock mechanics and geophysics on Salt, 2, 33-40.
- García Montoya, F.,. Investigación sobre algunos aspectos del campo magnético terrestre. Implicaciones didácticas. Enseñanzas de la ciencia de la Tierra, 1999, 130p.
- Jimenez-Barbero, J., Peters, T., (2002). NMR of Glycoconjugates, Wiley VCH,Weinheim, 336p
- Martinez-Peña, M.B y Pocoví, A,. 1988. El amortiguamiento frontal de la estructura de la cobertera surpirenaica y su relación con el anticlinal de Barbastro-Balaguer. Acta Geol. Hisp. 23, 81-94.
- Miller, M. (2015): Geofísica de la Tierra sólida. Parte III. El campo magnético de la Tierra. Universidad de Concepción, Facultad de Física y Matemáticas, Departamento de Geofísica, 30-69.
- Mochales López, T., (2006). Prospección magnética aplicada a la detección y caracterización de dolinas en el entorno de Zaragoza. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza. 222p
- Montserrat Torres, P., (2020). Prospección magnética aplicada al estudio de valles de fondo plano en los alrededores de Zaragoza. Trabajo Final de Grado. Universidad de Zaragoza. 41p
- Muñoz-Jimenez, A., Casas-Sainz., A.M., 1997, The Rioja trough (N Spain): Tectosedimentary evolution of a symetric foreland basin: Basin Research, v.9 no, p65-89.
- Quirantes, J. 1978. Estudio sedimentologico y estratigráfico del Terciario continental de los monegros. PhD thesis 681, Institución Fernando el Católico (CSIC), Zaragoza
- Riba, O., Reguant, S., Villena, J.1983. Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro. Libro Jubilar. J.M. Ríos: Gedogra de España, IGME.
- Roberts, A.P (2015): Magnetic mineral diagenesis. Earth Science Reviews, 151: 1-47.
- Soriano, M.A., y Calvo, J.M.,(1987): Características, datación y evolución de los valles de fondo plano de las inmediaciones de Zaragoza. Cuaternario y Geomorfología, 1. 283-293.
- Vázquez-Castro, G. y Solís-Castillo, B. (2018): Magnetismo ambiental en suelos vírgenes y antropizados. En: Magnetismo ambiental y cambio climático. Colecciones CIGA (Centro de investigaciones en geografía ambiental). Ciudad de México, México, 85-139.

-Verjés, J., Muñoz, J. A., Martínez, A., 1992. South Pyrenean fold and thrust belt : The role of foreland evaporitic level in thrust geometry. En thrust tectonics, McClay, M. R. (ed), Chapman & Hall, London, (225-264)

10.-Anexos:

Anexo 1:

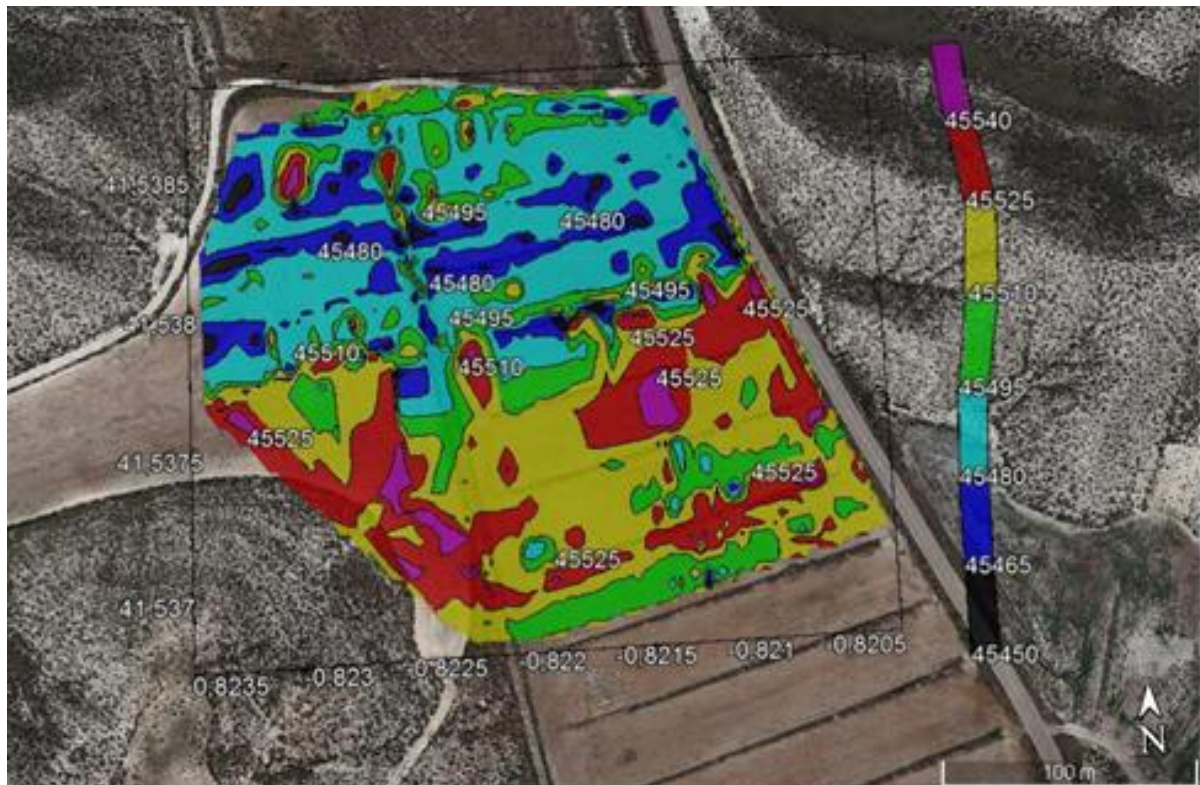


Figura 17: Mapa general de campo magnético sin realizar la corrección diurna.

Anexo 2:

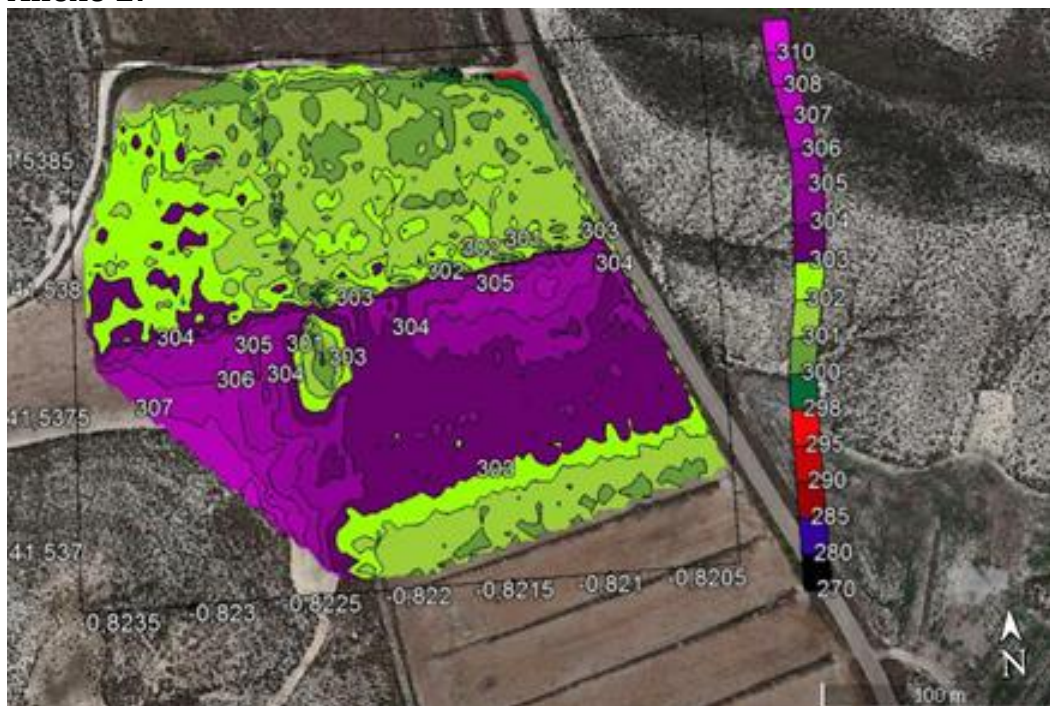


Figura 18: Mapa de altitud de la zona de estudio.

Anexo 3:



Figura 19: Trazado del gaseoducto que atraviesa la zona de estudio, obtenido según IDE Aragón (Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón)